

*Bienf*

UP

2003-07-15

TI

Calibration of a mass flow sensor by placing the sensor in a mass flow and recording its output signal at given times, then adjusting the sensor to match a reference calibration curve

PN

DE10149292-A1

---

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 49 292 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 01 F 25/00**  
G 01 F 1/72

⑳ Aktenzeichen: 101 49 292.8  
㉒ Anmeldetag: 5. 10. 2001  
㉔ Offenlegungstag: 8. 5. 2003

**DE 101 49 292 A 1**

⑦① Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦② Erfinder:  
Bierl, Rudolf, Dr., 93080 Pentling, DE

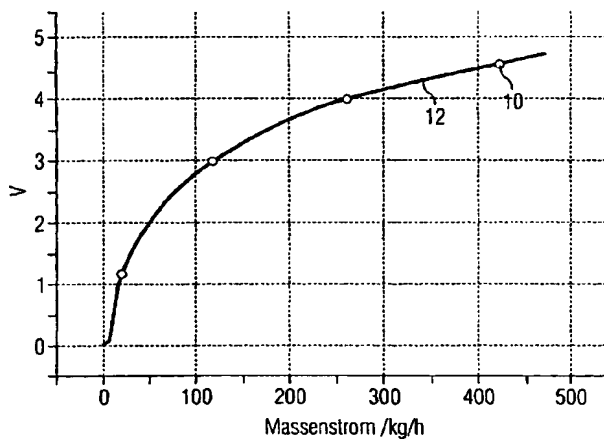
⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
DE 196 15 857 C1  
DE 199 50 146 A1  
DE 198 60 764 A1  
DE 198 57 329 A1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zum Kalibrieren eines Massenstromsensors

⑤⑦ Luftmassensensoren werden mit Hilfe einer Rampenfließbank mit Hilfe eines Referenz-Luftmassensensors kalibriert. Um das Kalibrieren zu beschleunigen und das Verfahren insgesamt zu vereinfachen, wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren in einem Strömungskanal ein Massenstrom erzeugt, der einer Referenzkennlinie folgt. Der zu kalibrierende Luftmassensensor wird in den Strömungskanal eingesetzt und anhand der Referenzkennlinie eingestellt.



**DE 101 49 292 A 1**



[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Kalibrieren eines Massenstromsensors für einen Gasstrom sowie eine Vorrichtung zum Kalibrieren des Massenstromsensors. Die Vorrichtung wird gelegentlich auch als Fließbank bezeichnet. Massenstromsensoren bestimmen die Masse eines strömenden Gases, insbesondere von Luft. Einem gefühlten Meßsignal, beispielsweise einem Stromwert oder einem Spannungswert ordnet der Massenstromsensor einen Wert für den Massenstrom zu.

[0002] Aus DE 198 57 329 A1 ist eine Fließbank und ein Verfahren zum Prüfen und Kalibrieren eines Massenstromsensors bekannt. Bei der bekannten Fließbank werden ein Prüfling und ein Referenz-Massenstromsensor hintereinander in einem Strömungskanal angeordnet. Eine Pumpe erzeugt einen Luftmassenstrom in dem Strömungskanal, wobei die beiden Massenstromsensoren stromaufwärts von einer Drosselklappe positioniert sind. Eine Steuerung stellt die Drosselklappe in dem Strömungskanal, so daß an den Massenstromsensoren unterschiedliche Werte für den Massenstrom vorliegen. Die von der Pumpe geförderte Luftmasse bleibt hierbei konstant. Zur Kalibrierung des Prüflings werden gewonnene Wertepaare von dem Prüfling und dem Referenz-Massenstromsensor eingesetzt. Das bekannte Verfahren besitzt eine Reihe von Nachteilen. Zum ersten ist der Aufbau der Fließbank mit zwei Luftmassensensoren aufwendig. Ferner hat sich herausgestellt, daß der als Master eingesetzte Referenz-Massenstromsensor mit der Zeit verschmutzt sowie aufgrund von Alterungserscheinungen nicht beliebig lange eingesetzt werden kann. Ferner muß bei der bekannten Kalibrierung berücksichtigt werden, daß zwei Luftmassensensor hintereinander in dem Massenstrom positioniert sind, so daß Druckverluste in dem Strömungskanal auftreten, die eine schnelle Kalibrierung, aufgrund von Verzögerungen der Luft verhindern.

[0003] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Kalibrierung eines Massenstromsensors bereitzustellen, das die oben genannten Nachteile vermeidet und besonders einfach und zuverlässig eine Kalibrierung eines Massenstromsensors gestattet.

[0004] Die zugrundeliegende Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Verfahrensschritten nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens bilden die Gegenstände der Unteransprüche.

[0005] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird ein zu kalibrierender Massenstromsensor in einem Strömungskanal angeordnet. Der Massenstromsensor erzeugt aufgrund seines physikalischen Aufbaus und des vorbei strömenden Massenstroms ein Meßsignal. Die Stärke des Meßsignals, beispielsweise in Volt oder Ampere, zeigt den gefühlten Massenstrom an, beispielsweise in Kilogramm pro Stunde. Die Zuordnung zwischen der Stärke des Meßsignals und dem Wert des Massenstroms wird nachfolgend allgemein als Kalibrierung bezeichnet. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird in dem Strömungssignal ein Massenstrom erzeugt, dessen Werte mit der Zeit einer vorbestimmten Referenzkennlinie folgen. Die Referenzkennlinie gibt an, zu welchem Zeitpunkt welcher Massenstrom in dem Strömungskanal vorliegt. Hierzu wird eine Einstelleinrichtung verwendet, die den Wert des Massenstroms steuert. Anders als bei bekannten Verfahren wird hier nicht einfach durch die Stellung einer Drosselklappe ein bestimmter Wertebereich von Strommassenwerten durchfahren, sondern der Massenstrom in dem Strömungskanal wird derart gesteuert, daß zu jedem Zeitpunkt ein durch die Referenzkennlinie vorbestimmter Wert für den Massenstrom vorliegt. Während die Massenstromwerte in dem Strömungskanal der vorbe-

stimmten Referenzkennlinie folgen, werden ein oder mehrere Meßsignale des Massenstromsensors mit ihren jeweiligen Meßzeitpunkten erfaßt. Anhand der erfaßten Meßsignale und den aus der Referenzkennlinie bekannten Werten des Massenstroms zu den entsprechenden Zeitpunkten der Meßsignale wird der Massenstromsensor kalibriert. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird nicht mit einem Referenz-Massenstromsensor gearbeitet, sondern in dem Strömungskanal werden vorbestimmte Werte für den Massenstrom zu vorbestimmten Zeiten erzeugt, so daß für den unkalibrierten Massenstromsensor zu diesen Zeitpunkten die Meßsignale einem Wert für den vorliegenden Massenstrom zugeordnet werden können.

[0006] In einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Meßsignale des zu prüfenden Massenstromsensors anhand der Werte der Referenzkennlinie für mehrere, beliebige Zeitpunkte, vorzugsweise für ungefähr zehn Zeitpunkte oder Massenstromwerte, kalibriert. Es werden mehrere tausend Wertpaare erfaßt, aus denen die vorzugsweise zehn Kalibrierpunkte mit Hilfe eines geeigneten Algorithmus ausgewählt werden. Der qualitative Verlauf für die Zuordnung von Meßsignal zu Massenstromwert ist, aufgrund des physikalischen Aufbaus des Massenstromsensors, bekannt. Indem die Meßsignale zu den einzelnen Zeitpunkten gemeinsam mit den Massenstromwerten aus der Referenzkennlinie als Stützstellen eingesetzt werden, kann eine Anpassung an gerätespezifische Abweichungen vorgenommen werden.

[0007] Um für den Strömungskanal eine möglichst genaue Referenzkennlinie zu gewinnen, kann der zeitlich veränderliche Massenstrom durch einen oder mehrere Referenz-Massenstromsensoren gemessen werden. Die gemessenen Massenströme der Referenz-Massensensor ergeben die Referenzkennlinie, die zu jedem Zeitpunkt den Massenstrom in dem Strömungskanal angibt, wenn der zeitlich veränderliche Massenstrom durch eine gleiche Ansteuerung der Einstelleinrichtung wiederholt wird. Werden mehrere Referenz-Massenstromsensoren eingesetzt, so können deren Meßwerte für den Massenstrom nach bekannten Verfahren zur Mittelwertbildung ausgeglichen werden und erzeugen so eine besonders genaue Referenzkennlinie.

[0008] In einer bevorzugten Ausgestaltung können Referenzkennlinien abhängig von Umgebungseinflüssen bestimmt werden, insbesondere abhängig von Temperatur, Druck und relativer Luftfeuchtigkeit. Die Werte des Massenstroms hängen von dessen Dichte und seinen Fließeigenschaften ab, die direkt durch Temperatur, Druck und relative Luftfeuchtigkeit bestimmt werden. Bei einer Änderung der Umgebungsbedingungen für Druck, Temperatur und relativer Luftfeuchte über einen zulässigen Toleranzwert hinaus, wird der Referenzsensor erneut vermessen und somit eine neue Referenzkennlinie für das Ventil bestimmt. Bevorzugt werden die Werte für den Massenstrom kontinuierlich durchgeföhren.

[0009] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird ebenfalls durch eine Vorrichtung zum Kalibrieren eines Massenstromsensors mit den Merkmalen aus Anspruch 6 gelöst. Die Vorrichtung ist insbesondere zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Vorrichtung bilden die Gegenstände der Unteransprüche.

[0010] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Kalibrieren eines Massenstromsensors für einen Gasstrom besitzt einen Strömungskanal, der eine Pumpeneinrichtung zur Erzeugung eines Massenstroms in dem Strömungskanal besitzt. Die Pumpeneinrichtung fördert einen Massenstrom durch den Strömungskanal. In dem Strömungskanal ist eine Einstelleinrichtung angeordnet, die den Massenstrom durch den Strömungskanal steuert. Für den zu kalibrierenden Mas-



senstromsensor ist eine Halteeinrichtung in dem Strömungskanal vorgesehen, die den Massenstromsensor in dem durch die Einstelleinrichtung eingestellten Massenstrom hält.

[0011] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Kalibrieren eines Massenstromsensors vermeidet den dauerhaften Einsatz eines Referenz-Massenstromsensors, in dem eine Einstelleinrichtung den Massenstrom in dem Strömungskanal gemäß einer Referenzkennlinie dynamisch durchfährt. Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann darauf verzichtet werden, für jeden Kalibriervorgang einen Referenz-Massenstromsensor einzusetzen.

[0012] Um die erforderliche Genauigkeit der Einstelleinrichtung für den Massenstrom zu erzielen, ist ein Ventil vorgesehen, durch das bevorzugt der gesamte Massenstrom in dem Strömungskanal tritt. Das Ventil ist mit einem Ventilsteller versehen, der die Stellung eines Ventilkörpers nach einer vorgegebenen Kennlinie für die Ventilstellung abhängig von der Zeit steuert. Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist ein festes Zeitprogramm für die Ansteuerung des Ventils vorgegeben, das nach einer vorgegebenen Kennlinie die Ventilstellung abhängig von der Zeit steuert. Durch die Ventilstellung wird der Wert des Massenstroms in dem Strömungskanal eingestellt, so daß aufgrund der vorgegebenen Ansteuerung des Ventilkörpers zu jedem Zeitpunkt der Wert des Massenstroms in dem Strömungskanal bekannt ist.

[0013] Als besonders vorteilhaft hat sich der Einsatz eines Kugelhahns erwiesen. Der Ventilsteller ist beispielsweise ein Schrittmotor oder ein ähnlicher Antriebsmotor mit einem an sich bekannten Winkel-Encoder, der eine hochgenaue Steuerung der Ventilstellung zuläßt. Bevorzugt sind in dem Strömungskanal ein oder mehrere Strömungsgleichrichter für den Massenstrom vorgesehen.

[0014] In einer bevorzugten Ausgestaltung ist die Pumpeneinrichtung als eine Saugpumpe ausgebildet. Bei dem Einsatz einer Saugpumpe hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die Einstelleinrichtung stromabwärts von dem zu kalibrierenden Massenstromsensor zu positionieren.

[0015] Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel wird anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert. Es zeigt:

[0016] Fig. 1 eine beispielhafte Kennlinie für einen Massenstromsensor und

[0017] Fig. 2 den Aufbau einer Fließbank.

[0018] Fig. 1 zeigt den beispielhaften Verlauf für eine Kennlinie eines Massenstromsensors. Mit der Kennlinie wird einem Meßsignal, das als Spannung in Volt vorliegt, ein Massenstrom in den Einheiten kg/h zugeordnet. In der in Fig. 1 dargestellten Kennlinie sind vier Stützstellen 10 eingezeichnet.

[0019] Die Stützstellen 10 werden über einen geeigneten Fit-Algorithmus ermittelt und ausgewählt. Die Stützstellen werden im Gegensatz zu den bekannten Verfahren nicht stationär gemessen, sondern es wird dynamisch der Wertebereich durchgefahren und aus der Vielzahl der Werte werden die für den Abgleich geeigneten Stützstellen mit Hilfe eines mathematischen Fit-Algorithmus ausgewählt.

[0020] Fig. 2 zeigt eine erfindungsgemäße Fließbank 14 in einer schematischen Ansicht von der Seite. Ein Strömungskanal 16 besitzt an einem Ende eine Pumpe 18. Die Pumpe 18 saugt Luft in Richtung des Pfeils A durch den Strömungskanal. In dem Strömungskanal angeordnet ist ein Kugelhahn 20, dessen Durchgangskanal 22 schematisch dargestellt ist. Der Kugelhahn 20 wird durch einen Antrieb 24 gestellt. Der schematisch dargestellte Antrieb 24 besitzt beispielsweise einen Steppermotor mit einer Getriebeübersetzung 26 von 20 : 1 und einem hochauflösendem Winkel-Encoder, um die Position möglichst exakt zu detektieren. Ein solcher Antrieb ist in der Lage, ein vorgegebenes Winkel-Zeitprofil genau nachzufahren.

[0021] Abhängig von der Stellung des Kugelhahns 20 in dem Strömungskanal 16 bildet sich der Massenstrom mit dem zugehörigen Wert aus. Stromaufwärts von dem Kugelhahn ist der zu kalibrierende Luftmassensensor 28 angeordnet. Der Luftmassensensor 28 ist in dem Strömungskanal 16 angeordnet, um die in Strömungsrichtung A strömende Luftmasse zu fühlen. Der Eingang zu dem Strömungskanal 16 ist mit einer trichterförmigen Öffnung 30 versehen. Zusätzlich kann in dem Strömungskanal 16 noch ein Strömungsgleichrichter zur Konditionierung der Luftströmung eingesetzt werden.

[0022] Während des Kalibrierens des Luftmassensensors 28 wird der Kugelhahn nach dem vorgegebenen Zeit-Winkel-Profil verfahren. Dem Zeit-Winkel-Profil liegt eine Referenzkennlinie zugrunde, die angibt, zu welchem Zeitpunkt welcher Massenstrom sich in dem Strömungskanal 16 ausbildet. Für ein zu einem Zeitpunkt aufgenommenes Meßsignal des Massenstromsensors 28 ist also bekannt, welcher Massenstrom diesem Meßsignal zugrunde liegt. Hierdurch kann die Kennlinie für den Massenstromsensor 28 mit beliebig vielen Stützstellen bestimmt werden.

[0023] Das Kalibrieren des Massenstromsensors mit seiner Kennlinie kann auf unterschiedliche Weise erfolgen, beispielsweise können Widerstände so getrimmt werden, daß die Abweichung der Kennlinie von der angestrebten Kennlinie minimal ist.

[0024] Um festzulegen, zu welchem Zeitpunkt welcher Massenstrom in dem Strömungskanal 16 vorliegt, wird ein Referenz-Massenstromsensor anstelle des zu kalibrierenden Massenstromsensors eingesetzt. Der Referenz-Massenstromsensor liefert zu einer gegebenen Stellung des Kugelhahns 20 den entsprechenden Massenstrom. Für ein Zeit-Winkel-Profil des Kugelhahns kann also der vorliegende Massenstrom exakt bestimmt werden.

[0025] Im Gegensatz zu bisherigen Fließbänken erfolgt hierbei eine Kalibrierung nicht durch eine gleichzeitige Messung von Referenz-Massenstromsensor und Prüfling, sondern die Funktion des Referenz-Massenstromsensors wird durch den Kugelhahn erfüllt. Durch Austausch von Prüfling und Referenz-Massenstromsensor, beispielsweise bei sich ändernden Umgebungsbedingungen, liegen für beide Sensoren identische Strömungsverhältnisse vor. Hierbei wird eine vergleichsweise kurze Meßzeit, sogenannte Rampenzeit, erzielt, da keine Verzögerung in der Strömung zwischen den Sensoren auftreten kann. Für den in Fig. 2 dargestellten Aufbau können Meßzeiten deutlich kürzer als zwanzig Sekunden erzielt werden. Es wird auch der Vorteil erzielt, daß eine Verschmutzung oder ein Verschleiß des Referenz-Massenstromsensors keine Auswirkung auf die Kalibrierung hat. Auch kann auf zusätzliche Filterelemente und Schmutzfilter in dem Strömungskanal verzichtet werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Kalibrieren eines Massenstromsensors für einen Gasstrom mit den folgenden Schritten: ein zu kalibrierender Massenstromsensor wird in einem Strömungskanal (16) angeordnet, in dem Strömungskanal wird ein Massenstrom erzeugt, dessen Werte mit der Zeit durch eine Einstelleinrichtung gemäß einer vorbestimmten Referenzkennlinie gesteuert werden, ein oder mehrere Meßsignale des Massenstromsensors werden mit ihren jeweiligen Meßzeitpunkten erfaßt und der Massenstromsensor wird anhand seiner erfaßten Meßsignale und den Werten der Referenzkennlinie für den Massenstrom zu den entsprechenden Meßzeit-





punkten der Meßsignale kalibriert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßsignale des Massenstromsensors anhand der Werte der Referenzkennlinie für mehrere Meßzeitpunkte, vorzugsweise für ungefähr zehn Meßzeitpunkte kalibriert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung der Referenzkennlinie ein oder mehrere Referenz-Massenstromsensor für eine vorbestimmte Ansteuerung der Einstelleinrichtung, die einen sich zeitlich verändernden Massenstrom bewirkt, den Wert des Massenstroms messen und die gemessenen Werte des Massenstroms abhängig von dem Meßzeitpunkt in der Referenzkennlinie abgelegt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß abhängig von Umgebungseinflüssen unterschiedliche Referenzkennlinien bestimmt werden, insbesondere abhängig von der Temperatur, dem Druck und der relativen Luftfeuchtigkeit.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Massenstromsensor einem erfaßten Meßsignal aufgrund einer Mess-Kennlinie einen Messwert für den Massenstrom zuordnet und die Mess-Kennlinie anhand der Werte der Referenzkennlinie für die Meßzeitpunkte kalibriert wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstelleinrichtung die Werte für den Massenstrom in dem Strömungskanal kontinuierlich durchfährt.

7. Vorrichtung zum Kalibrieren eines Massenstromsensors für einen Gasstrom mit einem Strömungskanal, der eine Pump-Einrichtung (18) zur Erzeugung eines Massenstroms, durch den Strömungskanal (16) besitzt, einer Einstelleinrichtung (20) in dem Strömungskanal, die den Massenstrom in dem Strömungskanal gemäß einer Referenzkennlinie steuert, und einer Halteeinrichtung für einen Massenstromsensor (28) in dem durch die Einstelleinrichtung vorgegebenen Massenstrom.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstelleinrichtung ein Ventil, das den Wert des Massenstroms in dem Strömungskanal steuert, und einen Ventilsteller besitzt, der die Stellung eines Ventilkörpers (22) nach einer vorgegebenen Kennlinie für die Ventilstellung abhängig von der Zeit steuert.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß als Ventil ein Kugelhahn (20) vorgesehen wird.

10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Ventilsteller einen Schrittmotor mit einem Winkel-Encoder besitzt.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Strömungskanal ein oder mehrere Strömungsgleichrichtung für den Massenstrom vorgesehen sind.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

60

65



- Leerseite -



FIG 1

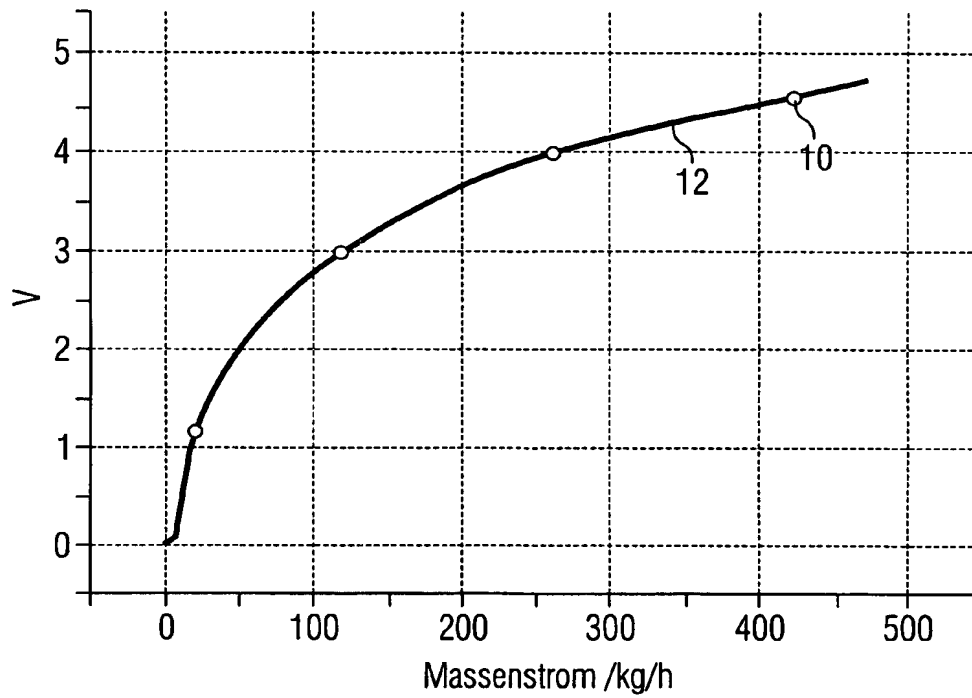
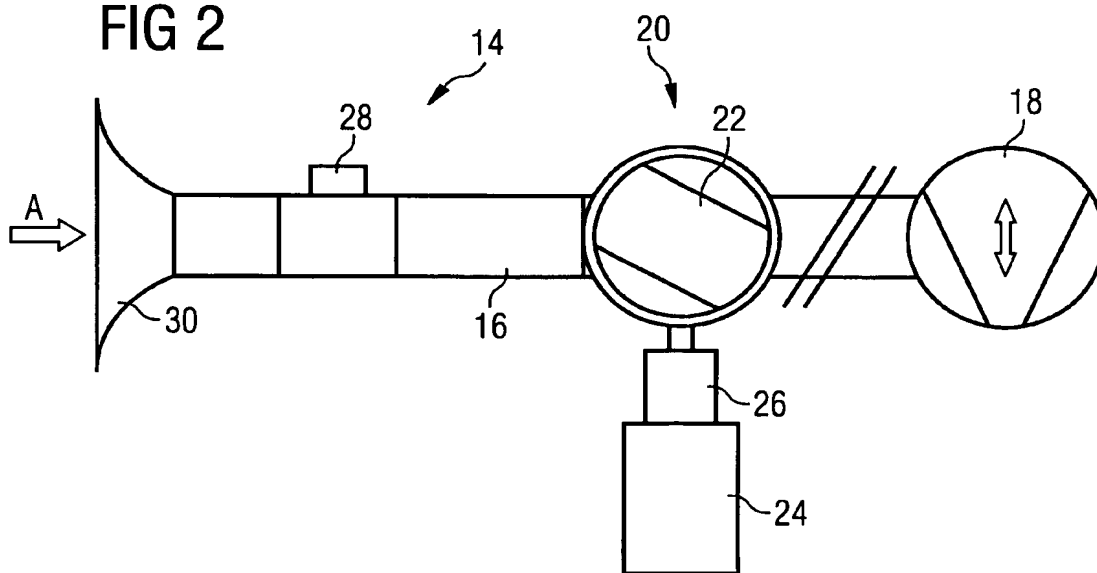


FIG 2



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**